

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift
⑩ DE 42 28 870 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 42 28 870.3
㉑ Anmeldetag: 29. 8. 92
㉒ Offenlegungstag: 3. 3. 94

㉓ Int. Cl. 5:
G 01 B 11/06
G 01 B 15/02
G 01 N 21/17
G 01 N 21/55
G 01 J 3/28
// H 01 L 21/66

DE 42 28 870 A 1

㉔ Anmelder:

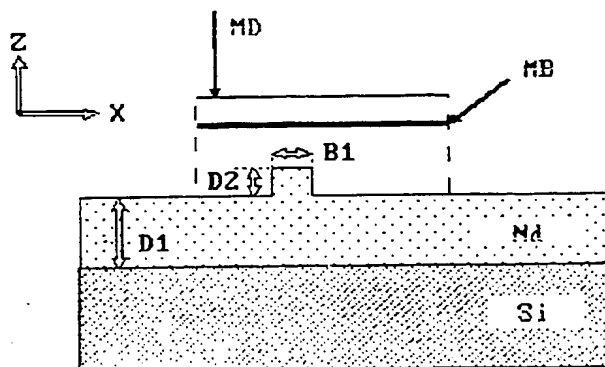
Institut für Halbleiterphysik GmbH Frankfurt(Oder),
15230 Frankfurt, DE

㉕ Erfinder:

Eichler, Michael, Dipl.-Phys. Dr., O-1200 Frankfurt,
DE; Marczinski, Paul, Dipl.-Phys., O-1200 Frankfurt,
DE

㉖ Verfahren zum Bestimmen der Geometrie dünner, optisch transparenter Schichten

㉗ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Geometrie von dünnen Deckschichten aus lichtoptisch transparenten Materialien auf reflektierenden Unterlagen unter Verwendung einer densitometrischen Breitenmessung und einer spektralphotometrischen Dickenmessung, das beim Vermessen von Strukturen auf Masken und Wafern in der Mikroelektronik, aber auch in anderen Bereichen der Technik Anwendung finden kann. Die Anwendung der Erfindung erlaubt es, die Geometrie von oberflächennahen Schichten aus optisch transparenten Materialien mit großer Eindeutigkeit zu bestimmen. Erreicht wird dies durch eine Verknüpfung der Modellrechnungen über die Beziehung, daß das Integral der Intensitätsverteilung über der Meßkoordinate der Breitenmessung bei einer bestimmten Wellenlänge proportional der Intensität des Reflexes der spektralphotometrischen Messung bei derselben Wellenlänge ist.



DE 42 28 870 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 94 308 069/396

5/48

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Geometrie von dünnen Deckschichten aus lichtoptisch transparenten Materialien auf reflektierenden Unterlagen unter Verwendung einer densitometrischen Breitenmessung und einer spektralphotometrischen Dickenmessung. Die Oberfläche kann geneigt, gekrümmt oder strukturiert sein. Die lateralen Strukturabmessungen betragen einige Mikrometer bis wenige 0,1 Mikrometer.

Das Verfahren wird angewendet beim Vermessen von Strukturen auf Masken und Wafern in der Bauelementfertigung der Mikroelektronik, aber auch in anderen Bereichen der Technik, die eine Erfassung der Geometrie von dünnen Deckschichten erforderlich werden lassen, insbesondere in der Biologie und der Medizin.

Nach Schäfer, W. Terlecki, G.: Halbleiterprüfung Licht- und Rasterelektronenmikroskope, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1986 sind lichtoptische Meßverfahren bekannt, die eine Bestimmung von Strukturbreiten und Schichtdicken an dünnen strukturierten Schichten berührungslos und in einer Umgebungsatmosphäre zulassen.

Die spektralphotometrische Schichtdickenmessung beruht auf der Analyse eines von den zu untersuchenden Schichten reflektierten Meßstrahls. Es wird eine integrale Aussage über den Schichtaufbau der gesamten vom Meßstrahl getroffenen und für die Analyse herangezogenen Oberfläche des Meßobjektes gewonnen.

Geneigte, gewölbte oder strukturierte Oberflächen im Bereich des Meßstrahls werden als eben behandelt und liefern einen Wert, der keine Rückschlüsse auf Details zuläßt.

Bei der Messung wird der reflektierte polychromatische Meßstrahl in das Reflexionsspektrum zerlegt, also die Abhängigkeit der Reflexion von der Lichtwellenlänge gewonnen. Diese gemessene Abhängigkeit wird mit einer modellierten verglichen, die im wesentlichen die Interferenz zwischen dem Reflex an der Oberfläche und an einer (oder mehreren) tiefer liegenden Grenzflächen berücksichtigt. Bei genügender Übereinstimmung zwischen gemessener und modellierter Abhängigkeit wird auf die Schichtdicke der transparenten Schicht oder Schichten geschlossen.

Die Übereinstimmung zwischen Modell und Messung wird durch die Variation von Parametern des Modells erreicht. Diese Modellparameter werden zweckmäßig in objektbezogene und sonstige unterteilt.

Die Ergebnisse sind nicht immer eindeutig, da z. B. bestimmte Schichtfolgen eines ebenen Objektes ein Reflexionsspektrum liefern, das dem eines lateral strukturierten, aber mit nur einer Schicht bedeckten, gleicht.

Neben der Schichtdickenmessung kann an demselben Bereich der Oberfläche eine Breitenmessung mit einem Mikrodensitometer erfolgen. Man erhält die Abhängigkeit der Intensität des reflektierten Meßstrahls von der Koordinate in Meßrichtung. Über der zweiten Koordinate wird von den Meßgeräten häufig integriert. Es ist bekannt, diese Intensitätsverteilung mit einer Modellrechnung nachzubilden. Dabei wird ein Satz von Parametern in die Modellrechnung eingegeben, der z. B. einerseits Eigenschaften des Meßgerätes, Wellenlänge des Meßstrahles und andererseits objektbezogene optische Eigenschaften der Schichten wie Schichtaufbau an der Meßstelle, Oberflächengeometrie an der Meßstelle beschreibt.

Die Modellrechnung berücksichtigt je nach Näherungsgrad Beugungseffekte, Interferenzen von Reflexionen und Brechungen im Objekt. Hat man auf anderem Weg die Kenntnis einiger Parameter erlangt, kann durch Variation eines oder weniger noch unbekannter anderer Parameter die Übereinstimmung von gemessener und modellierter Intensitätsverteilung erreicht werden. Auf diese Weise können so Angaben zur Oberflächengeometrie erhalten werden. Infolge der Periodizität von Interferenzen, die mit steigender Schichtdicke zunehmend auftreten, können auch weiterhin Mehrdeutigkeiten auftreten.

Ziel der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens zum Bestimmen der Geometrie dünner, optisch transparenter Schichten, das mit größerer Eindeutigkeit detaillierte Aussagen zu topologischen Strukturen von dünnen, optisch transparenten Schichten ermöglicht.

Der Erfindung liegt dabei die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Bestimmen der Geometrie dünner, optisch transparenter Schichten anzugeben, das die Vieldeutigkeit der der Geometrieparameterbestimmung zugrunde liegenden einzelnen Meßkurven weitgehend ausschließt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die beiden Modellrechnungen über die Beziehung, daß das Integral der Intensitätsverteilung über der Meßkoordinate der Breitenmessung bei einer bestimmten Wellenlänge proportional der Intensität des Reflexes der spektralphotometrischen Messung bei derselben Wellenlänge ist, verknüpft werden und berücksichtigt wird, daß die objektbezogenen Parameter der beiden Teilmodelle identisch sein müssen und die Anpassung der beiden Teilmodelle an die beiden gemessenen Abhängigkeiten durch Variation der Geometrieparameter angeglichen wird.

Im Rahmen dieses iterativen Prozesses wird es möglich, den komplexen Informationsgehalt für die Bestimmung der Geometrie in einem geneigten, gekrümmten oder fein strukturierten Gebiet besser zu nutzen und die Aussage zur Geometrie der Schicht in eindeutiger Weise, als es durch die bloße parallele Anwendung beider Meßverfahren bisher möglich war, zu präzisieren.

Die Erfindung soll anhand einer Ausführungsbeispielsbeschreibung näher erläutert werden.

Ein Ausführungsbeispiel des Gegenstandes der Erfindung ist in den Figuren dargestellt, und zwar zeigt

Fig. 1a einen Schnitt durch eine Meßstruktur mit einem Steg auf einer Nitridschicht über Silizium.

Fig. 1b eine Draufsicht auf die Anordnung nach Fig. 1a.

Fig. 2 Mit einem Breitenmeßgerät aufgenommene Intensitätsverteilung über der Meßkoordinate (entsprechend Fig. 1) und an die Intensitätsverteilung angepaßte Modellkurve.

Fig. 3 Im gleichen Bereich des Meßobjektes aufgenommenes Reflexionsspektrum und an das Reflexionsspektrum angepaßte Modellkurve.

Fig. 4 Darstellung zum Begriff Geometrieparameter an der Schnittzeichnung eines Steges.

Fig. 5 Die im Beispiel ermittelten Geometrieparameter.

Ein Siliziumwafer ist mit einer D1 Nanometer dicken Siliziumnitridschicht bedeckt, auf der sich ein B1

Nanometer breiter, D2 Nanometer hoher Steg befindet. Die Ausdehnung in Y-Richtung ist groß und hier nicht von Interesse, das Problem wird dadurch zweidimensional. An der Stelle des Steges und seiner näheren Umgebung wird mit dem densitometrischen Breitenmeßgerät die Intensitätsverteilung entlang der Meßkoordinate in X-Richtung aufgenommen (Fig. 1; Fig. 2).

An der gleichen Stelle wurde auch das Reflexionsspektrum, siehe Fig. 3, ermittelt. Beide Abhängigkeiten werden mit Rechenmodellen, die erfindungsgemäß verknüpft sind, nachgebildet, wobei die Anpassung der modellierten an die gemessenen Abhängigkeiten durch Variation der Geometrieparameter erreicht wird. Im Falle bester Anpassung werden diese als die das Objekt beschreibenden betrachtet.

Innerhalb der Modellrechnung wurde für die Untersuchung an einfachen Strukturen wie Gräben und Stegen ein Satz von Geometrieparametern definiert, der in Fig. 4 als Werte der X-Koordinate $X_1 \dots X_8$ und der dazugehörigen Schichtdickenwerte $Z_0 \dots Z_4$ dargestellt ist.

Die ermittelten Werte sind in Fig. 5 aufgelistet.

Abkürzungen

Fig. 1a:

MD — Meßbereich Dicke

MB — Meßbereich Breite

Nd — Nitridschicht

Si — Siliziumsubstrat

X — X-Koordinate

Z — Z-Koordinate

D1 — Dicke der Nitridschicht

D2 — Höhe des Steges auf der Nitridschicht

B1 — Breite des Steges auf der Nitridschicht

Fig. 1b:

MD — Meßbereich Dicke

MB — Meßbereich Breite

S — Steg

X — X-Koordinate

Y — Y-Koordinate

Fig. 2:

Pr — Profil der Schichtoberfläche

Si — Signalkurve

A — gemessene Signalkurve

B — modellierte Signalkurve

Fig. 3:

A — gemessene Intensitätskurve

B — modellierte Intensitätskurve

Fig. 4 und Fig. 5:

$X_1 = 2,32 \mu\text{m}$ $X_5 = 4,20 \mu\text{m}$ $Z_0 = 0,000 \mu\text{m}$ $Z_4 = 0,078 \mu\text{m}$

$X_2 = 2,56 \mu\text{m}$ $X_6 = 3,76 \mu\text{m}$ $Z_1 = 0,061 \mu\text{m}$

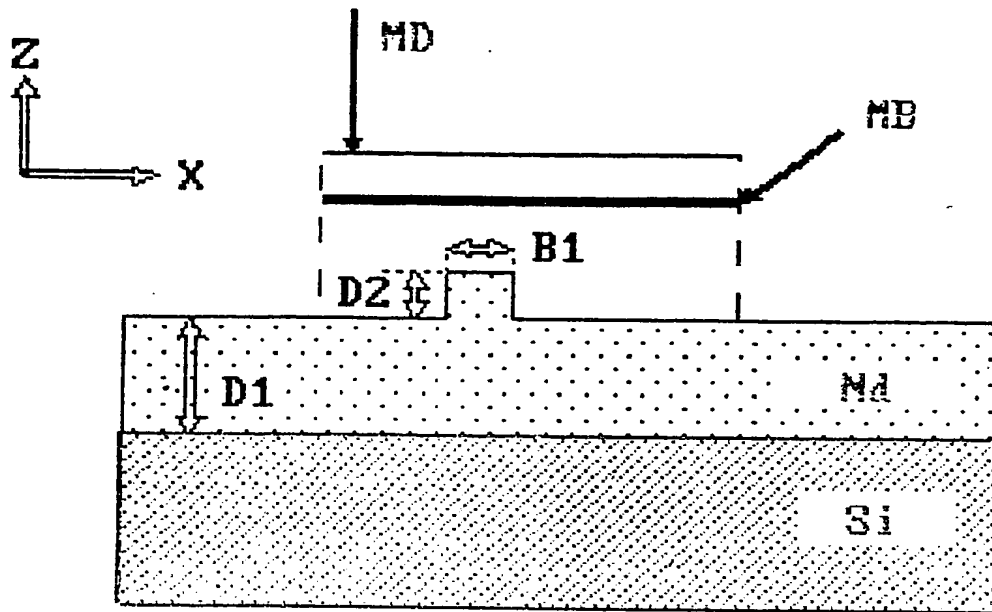
$X_3 = 2,56 \mu\text{m}$ $X_7 = 3,76 \mu\text{m}$ $Z_2 = 0,063 \mu\text{m}$

$X_4 = 2,56 \mu\text{m}$ $X_8 = 3,76 \mu\text{m}$ $Z_3 = 0,063 \mu\text{m}$

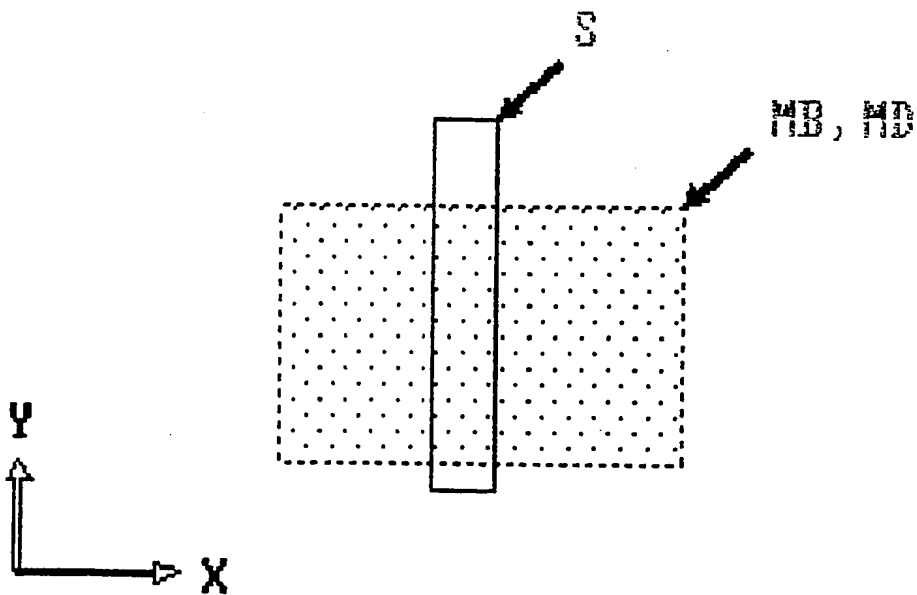
Patentanspruch

Verfahren zum Bestimmen der Geometrie dünner, optisch transparenter Schichten mit schrägen, gekrümmten oder strukturierten Oberflächen wobei von der zu bestimmenden Stelle der Oberfläche sowohl mit einem Dickenmeßgerät ein Reflexionsspektrum als auch mit einem densitometrischen Breitenmeßgerät die Intensitätsverteilung des Reflexes des Meßstrahls über der Meßkoordinate gewonnen werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden so gemessenen Abhängigkeiten über Rechenmodelle nachgebildet werden und die beiden Teilmodelle über die Beziehung, daß die Intensität des Reflexionsspektrums bei einer bestimmten Wellenlänge dem Integral der Intensitätsverteilung der densitometrischen Messung über genau dem gemeinsamen Meßgebiet bei derselben Wellenlänge proportional ist, verknüpft sind, daß berücksichtigt wird, daß die objektbezogenen Parameter der beiden Teilmodelle identisch sein müssen und daß die beiden nachgebildeten Abhängigkeiten durch Variation der Geometrieparameter an die gemessenen Abhängigkeiten angeglichen werden und die Geometrieparameter für den Fall der ausreichenden Anpassung als die gesuchten Geometriegrößen betrachtet werden.

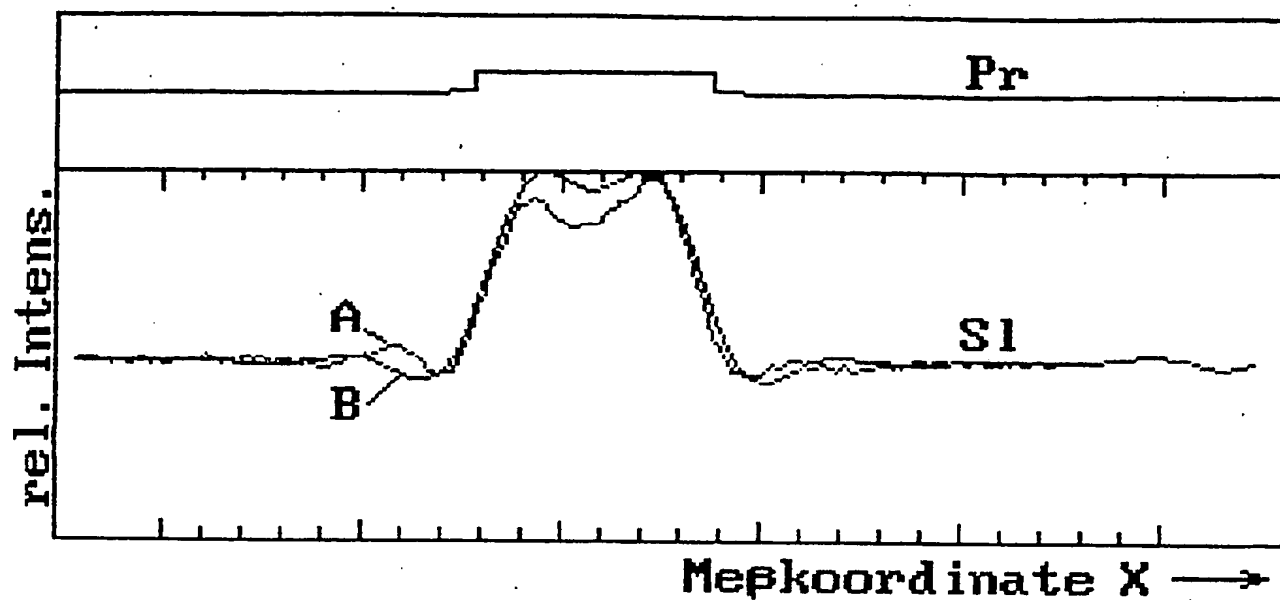
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



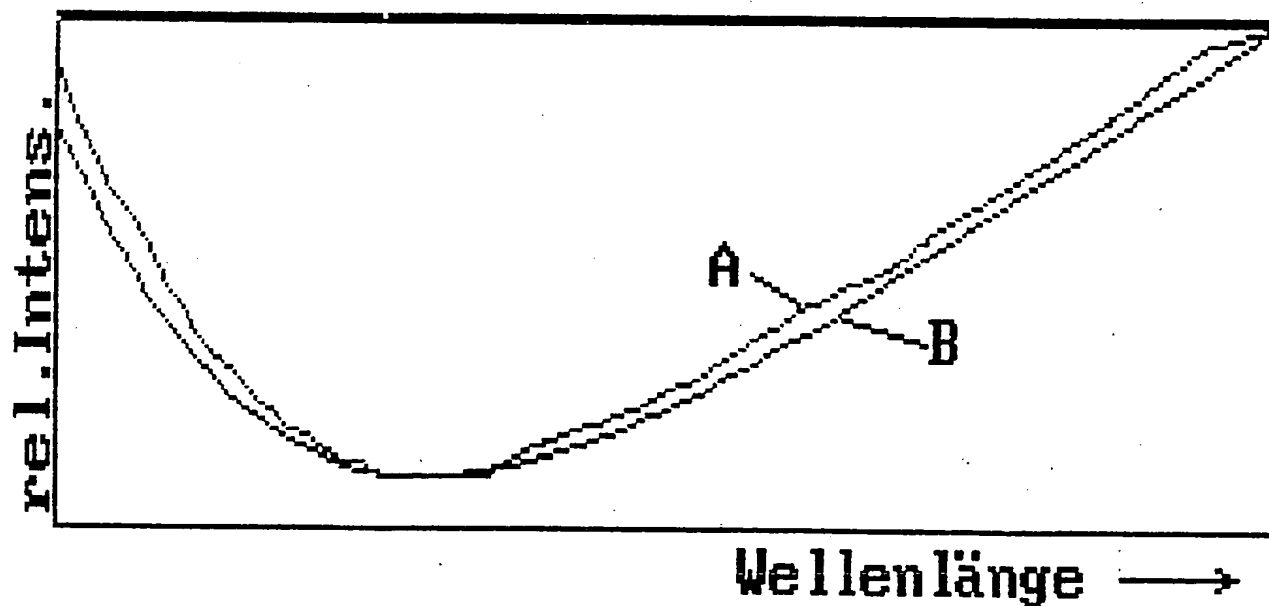
Figur 1a



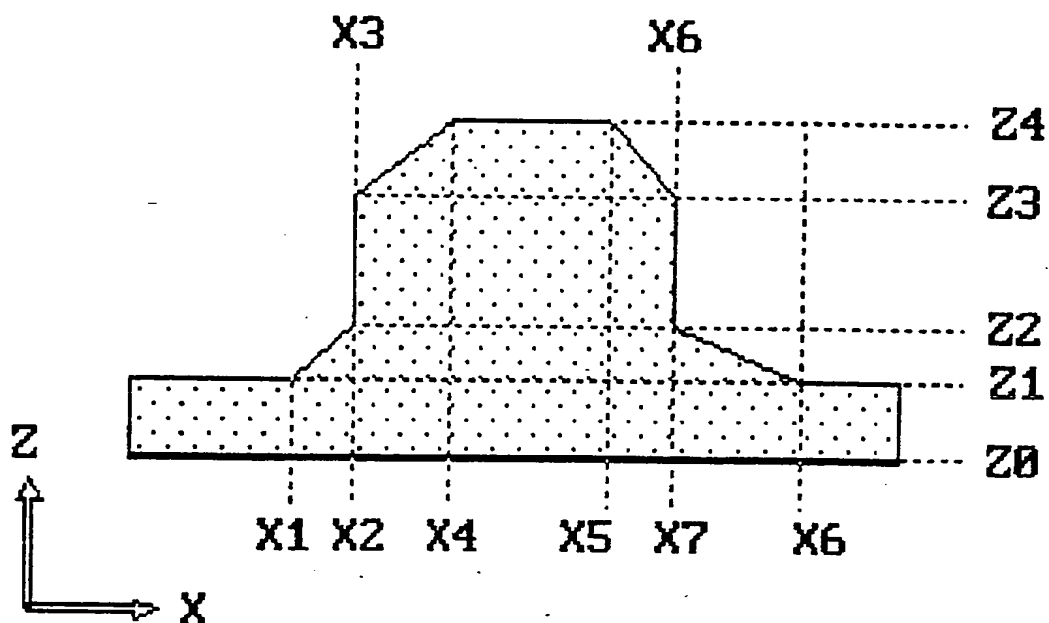
Figur 1b



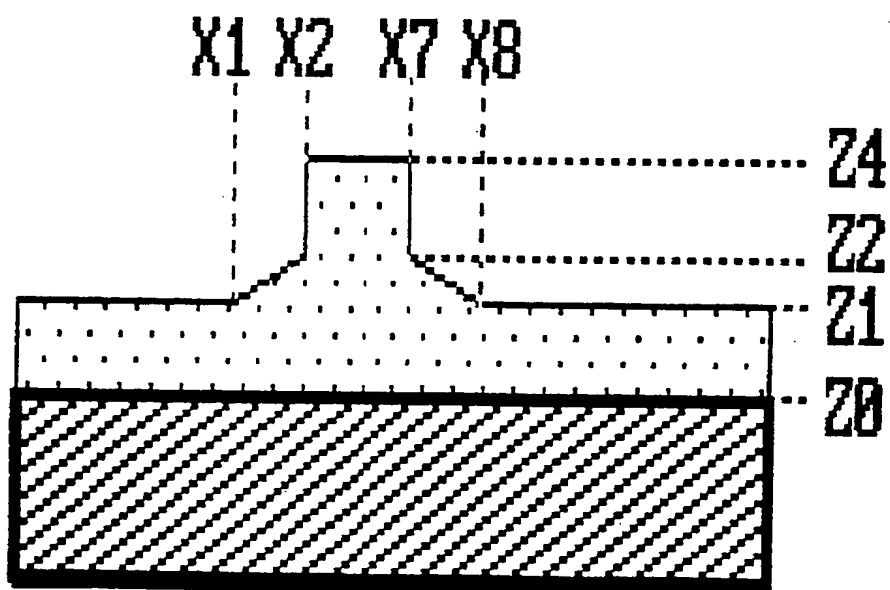
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5